

学校编码: 10384

密级_____

学号: 19820081153023

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

有源式光电电流互感器激光和太阳能混合
式供能系统的研究

Research of laser and solar hybrid powered system for
Active optical-electronic current transformer

孙存淼

指导教师姓名: 黄元庆教授

专 业 名 称: 物理电子学

论文提交日期: 2011 年 5 月

论文答辩时间: 2011 年 月

学位授予日期: 2011 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2011 年 5 月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（ ） 1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

（ ） 2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

摘 要

随着电力工业的不断发展,电网电压等级的不断提高,对电压、电流的测量要求也在不断提高。传统的电磁式互感器无法满足迅速发展的数字化电网电压的测试要求。目前电子式(光电式)互感器已成为电网中高电压、高电流测量新的研究热点,有源式光电电流互感器是新型互感器研究的典型代表,而高压端的供能是有源式光电电流互感器的关键部件之一。目前研究的主要有线圈从母线上取能、高压电容分压式供能、激光供能、蓄电池供能、超声电源供能等供能方法。

本文在光电互感器基本原理理论研究的基础上,对上述各种供能方法进行分析研究,结合激光供能、太阳能供能、蓄电池供能的优点提出并设计了一种新型的混合式供能设计方案,即激光和太阳能混合式供能方法,搭建了供能系统实验装置,完成了系统的测试。本文论文的主要内容:

1. 提出了一种以激光和太阳能电池板作为能量来源,结合蓄电池储能的混合式供能系统;
2. 对系统进行了总体设计,分别对激光器、蓄电池、光纤等部件进行了选型;
3. 比较并选择了激光和光纤的耦合方式、比较并选择了半导体激光器的冷却器、设计了磷酸铁锂蓄电池的特殊充电电路、设计了 DC-DC 稳压变换电路;
4. 采用 ANSYS 对半导体激光器热电冷却器进行热电分析,通过 ANSYS 仿真得出了热电冷却器对半导体激光器具有良好的冷却作用;
5. 对激光和太阳能混合式供能方式输出的电压进行了检测分析。

系统的输出电压检测分析表明,所设计的供能系统满足高压侧电子线路的供能要求。

关键词: 光电电流互感器 激光 太阳能 蓄电池 混合式供能

Abstract

With the continuous development of the Electric Power Industry, the Grid voltage level is rising. Voltage, current measurement requirements are constantly improved, Traditional Electro-magnetic transformer can't satisfy the Grid voltage rising. At present Electronic(optical-electronic) transformer becomes one of hot topics of the high voltage grid and high current measurement, Active optical-electronic current transformer is the typical representative of the new transformer research.

Energy supply is one of the key components of active optical-electronic current transformers. At present, the main research of energy supply includes: Voltage bus bar powered; Laser source powered; Battery powered; Ultrasonic powered and so on.

In this thesis, based on the theory research of optical-electronic transformer, the above all kinds of energy methods are analyzed. The laser and solar hybrid powered method is put forward and designed, the mind of which is to combine power collection by solar energy battery panel with power transmitted by laser and realize constant power output, build a energy supply device, complete the system tests. Complete the following:

1. Presented a system of hybrid powered energy, which uses laser and solar panels as energy source;
2. The overall design of the system, choose types of lasers, batteries, optical fiber units, etc;
3. Comparison and selection of laser and fiber coupling method, comparison and selection of semiconductor lasers cooler, design the battery lithium iron phosphate special charging circuit, design DC-DC voltage transform circuit;
4. Using Ansys for semiconductor laser thermoelectric cooler thermoelectric analysis, ansys simulation results show that the thermoelectric cooler has good cooling effect;
5. Testing and analysis of the output voltage of the system.

System testing analysis shows that the output voltage satisfies the requirements of the powering side voltage. Finally summarize the full text, draw some useful conclusions, and put forward some further research ideas.

Keywords: optical-electronic current transformer; laser; solar power; battery; hybrid powered

厦门大学博硕士论文摘要库

目 录

第一章 绪论	1
1.1 课题背景及研究光电电流互感器的意义	1
1.1.1 课题背景	1
1.1.2 光电互感器的优点	1
1.2 课题来源及主要内容	4
1.2.1 电力互感器的发展方向	4
1.2.2 国家政策	4
1.2.3 市场前景	5
1.2.4 国外发展状况	5
1.2.5 国内发展状况	7
1.2.6 存在的主要问题	7
1.3 有源光电电流互感器供能方式及其现状	8
1.3.1 线圈从母线取电供能方式	8
1.3.2 高压电容分压取能	9
1.3.3 激光供能	9
1.3.4 超声电源供能	9
1.4 本论文主要研究内容	10
第二章 光电电流互感器的基本原理	11
2.1 无源式光电电流互感器	11
2.1.1 法拉第磁光效应	11
2.1.2 磁光玻璃法	12
2.1.3 全光纤电流互感器	13
2.2 有源式光电电流互感器	15
2.2.1 罗戈夫斯基线圈	16
2.3 本章小结	17
第三章 有源式光电电流互感器各种供能方式	18

3.1 系统供电电源设计原理.....	18
3.2 光电电流互感器各种供电方式.....	19
3.2.1 用线圈从母线取电的供电方式	19
3.2.2 高压电容分压器的供电方式	20
3.2.3 激光供电方式	21
3.2.4 太阳能电池供电	22
3.2.5 蓄电池供电方式	23
3.2.6 超声电源供电方式	23
3.2.7 其他供电方式.....	24
3.3 本论文供电方案的选择.....	24
3.4 本章小结	25
第四章 激光和太阳能混合式供电方案设计	26
4.1 激光和太阳能混合式供电整体结构.....	26
4.2 激光和太阳能混合式供电方案设计难点.....	26
4.3 激光光源部分	27
4.3.1 半导体激光器的发光机理.....	28
4.3.2 激光二极管驱动电路	29
4.3.3 激光器的温控电路	32
4.3.4 热电冷却器制冷机理	32
4.4 光纤耦合.....	33
4.4.1 半导体激光器与光纤耦合原理	34
4.4.2 半导体激光器与光纤的耦合方式	35
4.4.3 本文选择的半导体激光器与光纤耦合方式	38
4.5 光电转换器的选择.....	38
4.5.1 光电池工作原理	38
4.5.2 本文选择的光电池	39
4.6 太阳能电池板.....	40
4.7 磷酸铁锂蓄电池原理及结构.....	41

4.7.1 磷酸铁锂电池的结构和工作原理	42
4.7.2 磷酸铁锂电池的性能与特点	43
4.7.3 本文选择的蓄电池.....	44
4.8 充电电路设计.....	45
4.8.1 磷酸铁锂蓄电池充电特性.....	45
4.8.2 磷酸铁锂蓄电池充电电路板的设计	45
4.9 DC-DC 稳压变换电路	47
4.10 本章小结.....	48
第五章 基于 ANSYS 有限元仿真和实验结果.....	49
5.1 ANSYS 软件介绍.....	49
5.2 半导体激光器热电冷却器 ANSYS 仿真.....	52
5.2.1 前处理	52
5.2.2 求解	54
5.2.3 后处理	55
5.3 系统实验结果.....	56
5.3.1 电压稳定度测试	57
5.3.2 输出电压纹波分析	58
5.3.3 实验结论	67
5.4 本章小结.....	68
第六章 总结及展望	69
6.1 总结.....	69
6.2 展望.....	69
参考文献.....	71
致谢	74
硕士期间发表的论文	75

Contents

Chapter 1 Introduction	1
1.1 Topic backgroud and research optical-electronic current transformer	1
1.1.1 Topic backgroud	1
1.1.2 The advantages of optical-electronic current transformer	1
1.2 Topic source and its main content.....	4
1.2.1 The development direction of power transformer	4
1.2.2 National policy.....	4
1.2.3 Market prospect	5
1.2.4 International situation in this field	5
1.2.5 Domestic situation in this field	7
1.2.6 The main existing problems.....	7
1.3 Active optical-electronic current transformer energy supply modes and the status.....	8
1.3.1 Bus bar powered	8
1.3.2 High voltage capacitance bleeder power supply mode.....	9
1.3.3 Laser power supply	9
1.3.4 Ultrasonic power source.....	9
1.4 The main research works.....	10
Chapter 2 The basic theory of OCT	11
2.1 Passive optical-electronic current transformer	12
2.1.1 Faraday magneto-optic effect	13
2.1.2 Magneto-optic glass method.....	10
2.1.3 All fiber optical-electronic current transformer.....	11
2.2 Active optical-electronic current transformer	15
2.2.1 Rogowski coil	16
2.3 Chapter summary.....	17
Chapter 3 Methods of energy supply of OCT.....	18
3.1 System design principle of energy supply	18

3.2 Methods of energy supply of OCT	19
3.2.1 Take energy from busbar with coil	19
3.2.2 High voltage capacitance bleeder power supply mode.....	20
3.2.3 Laser power supply	21
3.2.4 Solar batteries power supply	22
3.2.5 Battery power supply	23
3.2.6 Ultrasonic power source mode.....	23
3.2.7 Other power supply	24
3.3 Power supply way selecting	24
3.4 Chapter summary	25
Chapter 4 Design of laser and solar hybrid power supply	26
4.1 Structure of laser and solar hybrid power supply	26
4.2 Difficulties in laser and solar hybrid power supply.....	26
4.3 Laser light source	27
4.3.1 Semiconductor laser emitting mechanism	28
4.3.2 Laser diode drive circuit	29
4.3.3 The laser temperature control circuit	32
4.3.4 Thermoelectric cooler refrigeration mechanism.....	32
4.4 Fiber coupling	33
4.4.1 Coupling principle of semiconductor laser and fiber.....	34
4.4.2 Coupling methods of semiconductor laser and fiber	35
4.4.3 Semiconductor laser and fiber coupling method selection	38
4.5 Photoelectric converter selection	38
4.5.1 Photocell mechanism	38
4.5.2 Photocell selection	39
4.6 Solar panels	40
4.7 Lithium iron phosphate battery operating mechanism and structure.....	41
4.7.1 Lithium iron phosphate battery operating mechanism and structure.....	42
4.7.2 Lithium iron phosphate battery performance features	43
4.7.3 Lithium iron phosphate battery selection.....	44
4.8 Charging circuit design.....	45

4.8.1	Charging characteristics of lithium iron phosphate battery	45
4.8.2	Charging circuit board design	45
4.9	DC-DC voltage transform circuit	47
4.10	Chapter summary	48
Chapter 5	Finite Element Analysis of thermoelectric cooler	49
5.1	Introduction of ANSYS	49
5.2	simulation of moelectric cooler with ANSYS.....	52
5.2.1	Preprocessor	52
5.2.2	Solution.....	54
5.2.3	General postprocessing	55
5.3	System Experiment.....	56
5.3.1	Voltage stability testing	57
5.3.2	Output voltage ripple analysis.....	59
5.3.3	Conclusion of the experiment.....	67
5.4	Chapter summary.....	68
Chapter 6	Conclusions and Prospects.....	69
6.1	Conclusions	69
6.2	Prospects.....	69
References		71
Acknowledgement		74
Achievement		75

第一章 绪论

1.1 课题背景及研究光电电流互感器的意义

1.1.1 课题背景

电压、电流互感器是电力系统中进行电压、电流信号采集监测的重要设备。目前在电力系统中广泛应用的是电磁式电压、电流互感器。但是，随着电力系统向大容量、高电压、大电流的方向发展，发电厂、变电站和系统数字化测量、保护、调度和控制的发展，互感器作为连接一次系统和二次系统的关键部件，对其提出的小型化、智能化、安全性和高可靠性的要求也越来越高。

传统的电流测量和保护设备电磁式电流互感器由于其结构特点和存在的不足已不能满足这种要求，其主要表现如下：

- (1) 绝缘难度大，特别是 500kV 以上，因绝缘而使得互感器的体积、质量及价格均提高；
- (2) 动态范围小，当电流较大时，会出现磁饱和现象，影响二次保护设备正确识别，引起运行故障；
- (3) 输出信号为模拟信号，不能直接与微机化计量及保护设备联接；
- (4) 易产生铁磁谐振等；
- (5) 如果二次侧开路会出现高压现象。

1.1.2 光电互感器的优点

自二十世纪六十年代以来，人们一直在寻求一种安全、可靠、理论完善、性能优良的新方法来实现高电压、大电流的测量。现阶段受到重视的是光电电流互感器，它能很好的地克服传统电磁式互感器所带来的缺点。目前，国内外很多科研机构和高校的研究人员正致力于光电互感器的研究。随着电子计算机技术、光纤技术、光电子技术和现代传感技术的发展，光电电流互感器的研制和开发已逐渐成熟和完善^[1]。如图 1.1 是市场上常见的光电电流互感器实物图：



图 1.1 光电电流互感器实物图

光电电流互感器(Optical Current Transformer, 简称 OCT)按传感器部分是否需要电源供电模块可分为有源式 OCT 和无源式 OCT。其利用光纤作为信号传输的载体, 光纤是一种新型的材料是由玻璃制成的纤维, 具有了传输光性能好, 频带宽^[2]等独特的优点, 用光纤制成的光电电流互感器比传统的电磁式互感器相比较如下表:

表 1.1 光电电流互感器与传统的电磁式互感器比较

项目	光电互感器	电磁式互感器
原理	罗戈夫斯基线圈、泡克尔斯效应、 法拉第效应	电磁感应
价格, 成本 (目前)	相对较高	相对较低
运行经验	短, 少量	长, 大量
频率响应范围	宽	窄
测量精度	相对高	相对低
信号传输介质	光纤	铜导线
有无铁心	无	有
抗电磁干扰性能	好	较差
绝缘介质	绝缘脂	绝缘油, SF6

相比于电磁式互感器的缺点，光电电流互感器具有以下突出的优点：

1. 高低压完全隔离，具有优良的绝缘性能和优越的性价比，安全性高。在光电式电流互感器中，采用光纤作为连接高低电压之间的传输信息的介质。光纤本身具有良好的绝缘性能，因此光纤电流传感不采用充油进行绝缘，避免了因充油引发的易燃、易爆等危险。

2. 没有铁芯，不存在磁饱和、铁磁谐振等问题。

3. 功能齐全，测量精度高。目前，光电互感器的测量精度最高可达 0.2 级。

4. 频率响应宽，动态范围大。光纤的潜在的可利用带宽大于 $2 \times 10^7 \text{MHz}$ ^[3]，正常运行时的额定电流并不大，但短路电流却很大。容量越大，短路电流就越大。电磁式电流互感器测量的电流范围是有限的，电流越大准确度越低。光纤电流传感器可测到的额定电流达到几千安培，测量的过电流可达到几十万安培^[4]。

5. 不受外界电磁波的干扰。光纤是由玻璃或塑料聚合物制成的，是电的绝缘体，传输中不需要回路，光纤不受外界的电磁干扰，不需任何屏蔽就可在射频干扰、电磁脉冲干扰或强电的环境中通信。此外，光纤仅传输光能，不会产生任何电干扰信号，不会影响其他电设备正常工作^[5]。

6. 损耗小。与最好的铜导线相比，光纤的损耗或衰减要低的多，一般为 0.2-0.4db/km。因此，光纤的通信系统的中继距离长达几十甚至几百公里，可使长距离通信的费用和复杂性减少^[6]。

7. 体积小，重量轻，节约占地面积，安装便捷。光纤本身质量轻体积小，安装方便并且一根光纤可代替多根电缆，减少工作量，降低了造价。

8. 能适应电力系统数字化、智能化和网络化的需要。可以与计算机连接，实现多功能智能化要求。满足电力系统的计量和保护数字化、微机化和智能化的发展要求。

光电式电流互感器有很多传统电磁式互感器无法比拟的优点，随着现代微电子技术、数字信号处理技术和光学技术的发展，必将取代传统电磁式互感器，成为数字化变电站的主要监测设备。

1.2 课题背景及主要研究内容

1.2.1 电力互感器的发展方向

电压、电流互感器是电力系统中进行电压、电流信号采集的重要设备。目前在电力系统中广泛应用的是电磁式电压、电流互感器。但是,随着电力系统向大容量、高电压、大电流的方向发展,发电厂、变电站和系统数字化测量、保护、调度和控制的发展,互感器作为连接一次系统和二次系统的关键部件,对其提出的小型化、智能化、安全性和高可靠性的要求也越来越高。现有传统电磁式互感器由于其结构特点和存在的不足已不能满足这种要求。

1.2.2 国家政策

国家电网对电力电网的智能化发展也提出了一个长远的规划,2009年5月21日,在2009特高压输电技术国际会议上,以特高压电网为骨干网架,各级电网协调发展,具有信息化、数字化、自动化和互动化特征智能电网被首次提出,国家电网公司公布了“智能电网”的发展计划,主要包括三个发展阶段:

第一阶段2009-2010年,国家电网公司将加快智能电网相关技术和管理标准的制定,推进各种试点项目的招标和建设。特高压示范工程建设和各省载波表的推广都将加快。

第二阶段2011-2015年,我国的特高压电网有望初具规模,初步形成特高压电网的智能运行和监控。我国将初步建成区域性城乡智能配电网络的示范工程。

第三阶段2015-2020年,我国将进一步完善特高压智能输电网络,普及城乡智能化配电网络,加大分布式能源的使用效率。

智能化电网的发展离不开互感器的智能化,光电式互感器是利用光电子技术和光纤传感技术来实现电力系统电压、电流测量的新型测量装置。与传统互感器相比,光电互感器具有测量精度高、体积小、重量轻、成本低、结构紧凑、安全性能优良、没有磁饱和、传输频带宽等优点满足智能化的需求,必将逐步取代传统电磁式互感器,是互感器行业和更新换代产品。

1.2.3 市场前景

随着 IEC61850 标准的发布,数字化变电站已在全国各省市电力公司全面试

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库